

ИНТЕНСИВНОСТЬ СКОРОСТЕЙ ДЕФОРМАЦИИ КАК УПРАВЛЯЮЩИЙ ФАКТОР ПРИ ПРЕССОВАНИИ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ СО СТРУКТУРНЫМ УПРОЧНЕНИЕМ

*г. Екатеринбург, ГОУ ВПО «Уральский государственный
технический университет - УПИ»,
г. Каменск-Уральский, ОАО «Каменск-Уральский металлургический
завод»*

Экспериментальные исследования ВИЛСа [1-3] показали, что характеристики алюминиевых сплавов, обладающих свойством структурного упрочнения (дюралюмины, авиали и др.), чувствительны к скорости деформации. Показано, что применение умеренных скоростей деформации приводит к достижению нерекристаллизованного состояния для ряда сплавов, это после закалки и старения обеспечивает повышение прочностных свойств.

Следует отметить, что такие выводы были получены при использовании схемы осадки цилиндрических образцов, что позволяло рассчитать по относительно простым формулам скорость деформации по известной скорости перемещения инструмента. Применение инвариантной характеристики скорости деформации позволяет использовать полученные данные для любых процессов обработки металлов давлением (ОМД). Однако другие способы деформации могут отличаться по характеру реализации от метода осадки. Например, часто применяемое для обработки алюминиевых сплавов прессование отличается от осадки тем, что в течение времени нагружения на отдельные области металла заготовки воздействуют с различной скоростью деформации, несмотря на то что скорость перемещения инструмента может быть постоянна. Следовательно, условия достижения нерекристаллизованного состояния для сплавов со структурным упрочнением окажутся разными, и будут зависеть от координат рассматриваемой точки.

Для оценки реальной ситуации применен программный модуль РАПИД - 2D, разработанный в Уральском государственном техническом университете - УПИ (Copyright © Полищук Е.Г., Жиров Д.С. 2000-2004). Модуль предназначен для решения задач пластического формоизменения вязких сред в осесимметричной постановке методом конечных элементов. Выполнено решение краевой задачи прессования трубной заготовки из алюминиевого сплава марки 6061. Реализована следующая постановка задачи. Прессованию подвергается полый слиток наружным диаметром 610 мм, внутренним диаметром 350 мм с получением трубы наружным диаметром 400 мм с толщиной стенки 40 мм. При решении задачи

учтены процессы теплопередачи как внутри заготовки, так и относительно инструмента. Скорость перемещения пуансона 2 мм/с.

Решение представлено на рис. 1 в виде линий равного уровня интенсивности скоростей деформации сдвига N , связанной со скоростью деформации ξ известным соотношением $N = \sqrt{3}\xi$.

Анализ результатов решения показывает, что значения N в очаге деформации варьируются в широких пределах, при этом максимум достигается в области, примыкающей к калибрующему пояску матрицы. Очень часто одну из границ очага деформации при прессовании представляют сферической поверхностью, проходящей через калибрующий поясok матрицы. Это позволяет применить для аналитического решения сферическую систему координат. При построении кинематически возможного поля скоростей эта поверхность оказывается поверхностью разрыва тангенциальной составляющей скорости. На этой поверхности удастся рассчитать приращение степени деформации, и оно оказывается конечной величиной. Скорость деформации на линии разрыва оказывается бесконечно большой величиной, поэтому вопрос ее определения аналитическими методами до сих пор не получил разрешения.

На рис. 1 сплошная линия W , снабженная стрелкой, характеризует направление увеличения интенсивности скоростей деформации сдвига, а также положение поверхности W , на которой достигаются наибольшие скорости деформации. Можно отметить, что расположение этой поверхности напоминает положение поверхности разрыва скоростей, применяемой в аналитических методах. В данном докладе сформулирована гипотеза, в соответствии с которой при деформации алюминиевых сплавов, обладающих эффектом структурного упрочнения, на этой поверхности возникает большая вероятность прохождения процессов рекристаллизации, что приводит к появлению области пониженных прочностных свойств после закалки и старения.

Судя по данным Ю.М. Вайнבלата с сотрудниками [2,3], при наиболее высокой температуре деформации полигонизованное состояние ряда алюминиевых сплавов сохраняется в процессах, связанных с нагревом металла (их нельзя назвать горячими, поскольку рекристаллизация не достигается) при скоростях деформации ξ менее $0,1 \dots 1 \text{ с}^{-1}$ что соответствует интервалу $N = 0,17 \dots 1,7$. Как видно из результатов расчета, на поверхности W скорости изменяются как раз в этом интервале. Для определения характера этого изменения нормировали координату x , отсчитываемую вдоль линии W по направлению от поверхности иглы к поверхности матрицы, делением ее на длину этой линии x/L ,

на рис. 2 приведен график увеличения значений N вдоль линии действия наибольших скоростей деформации.

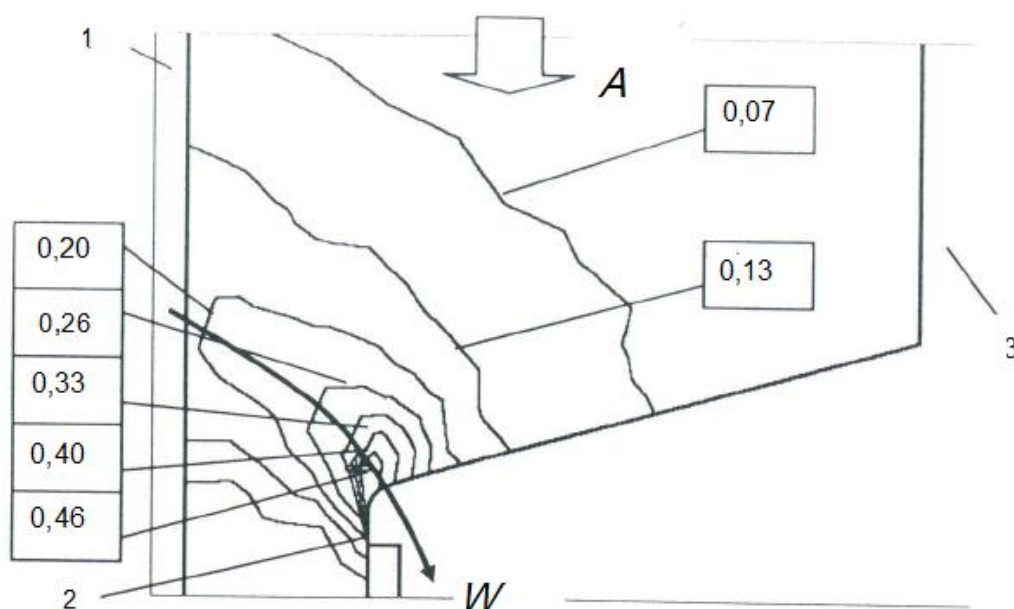


Рис. 1. Схема части очага деформации и линии равного уровня относительной интенсивности скоростей деформации сдвига (в рамках, с^{-1}): 1 - поверхность иглы; 2 - калибрующий поясок матрицы; 3 - стенка контейнера; стрелка A - направление прессования; стрелка W - направление повышения скорости деформации

При величине достоверности аппроксимации $R^2 = 0,9352$ наиболее подходящим уравнением регрессии является экспоненциальная зависимость вида

$$N_W = 0,1379 \exp(0,2263 \frac{x}{L}),$$

при среднем значении $N_W = 0,288 \text{ 1/с}$.

Как видно из результатов расчета и обработки данных, распределение N_W вдоль линии максимальных значений носит нелинейный характер, причем по направлению к матрице происходит значительный рост скоростного параметра. Это приводит к опасности превышения скоростью деформации порога, установленного для данного сплава. Последствия такого превышения должны проявляться в прохождении процессов рекристаллизации при температурах заковки и снижении прочностных характеристик металла. При прочих равных условиях в прессованных полуфабрикатах, изготовленных из сплавов с эффектом структурного упрочнения, прочностные свойства после

закалки и старения должны оказаться ниже в периферийных слоях изделия, на что указывают некоторые авторы [4,5],

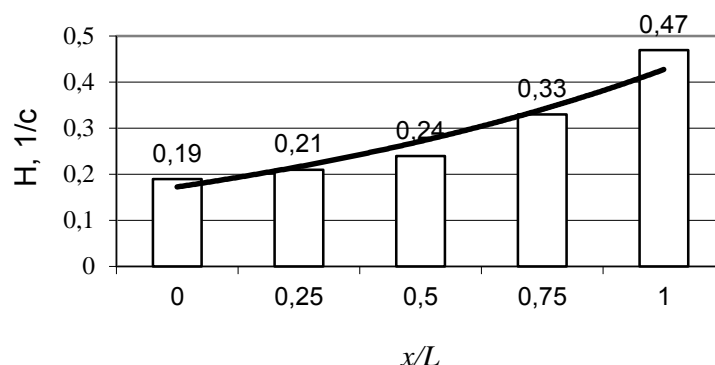


Рис. 2. Изменение H вдоль линии максимальных значений (столбцы - значения, определенные решением задачи методом конечных элементов, график - по уравнению регрессии)

Проверку решения выполняли при прессовании на прессе 60 МН труб $\varnothing 304,8 \times 25,4$ мм из сплава 6061. Методика испытаний заключалась в проведении прессования, термообработки, отборе темплетов по длине трубы и толщине стенки, изготовлении образцов, испытании их на разрыв, а также в проведении металлографических исследований.

В таблице приведены статистические данные измерений временного сопротивления наружного и внутреннего контуров готовой трубы. Как видно из приведенных результатов, среднее временное сопротивление внутреннего контура выше наружного на 23 МПа или на 7 %. Это подтверждает гипотезу о возможном разупрочнении наружного слоя металла за счет повышенной скорости деформации и частичной потере эффекта структурного упрочнения.

Наименьшие значения дисперсии и стандартного отклонения временного сопротивления достигнуты на внутреннем контуре трубы, что может свидетельствовать о том, что на наружном контуре достигается такая критическая скорость деформации, при которой небольшие колебания температуры приводят в локальных объемах либо к эффекту полигонизации, либо к эффекту рекристаллизации при случайном их сочетании. В пользу такого объяснения говорит и тот факт, что наибольшая дисперсия временного сопротивления наблюдается при прессовании первой трубы, и она постепенно нивелируется при прессовании последующих труб, т.е. при выравнивании температуры заготовки и инструмента.

Выполнена проверка гипотезы значимого различия двух средних с использованием критерия Стьюдента, Расчетная статистика равна 3,28, что больше табличного значения 1,69; это подтверждает гипотезу статистической значимости отличий средних значений временного сопротивления наружного и внутреннего контуров трубы.

Сравнение временного сопротивления наружного и внутреннего контуров трубы

Характеристика	Наружный контур	Внутренний контур
Количество измерений	36	36
Минимальное значение, МПа	243	347
Максимальное значение, МПа	378	378
Среднее значение, МПа	345	368
Дисперсия	2048	45
Стандартное отклонение, МПа	45	7
Эксцесс	0,4	4,4
Статистика t -распределения Стьюдента	3,28	

В целом, выполненный промышленный эксперимент подтверждает справедливость гипотезы о наличии зависимости механических характеристик прессованного материала от интенсивности деформаций сдвига.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колачев Б.А., Ливанов В.А., Елагин В.И. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов. М.: Металлургия, 1972. 480 с.
2. Вайнблат Ю.М. Диаграммы структурных состояний и карты структур алюминиевых сплавов. Металлы. 1982. №2. С.82-89.
3. Вайнблат Ю.М., Ланцман П.Ш., Шаршагин Н.А. Диаграммы структурных состояний горячедеформированных алюминиевых сплавов. Известия вузов. Цветная металлургия. 1974. №1. С.155-160.
4. Van Geertruyden W. H.; Browne H. M.; Misiolek W. Z.; Wang P. T. Evolution of surface recrystallization during indirect extrusion of 6xxx aluminum alloys. Metallurgical and Materials Transactions A, V. 36, N 4, April 2005, pp. 1049-1056.
5. Алюминиевые сплавы. Структура и свойства полуфабрикатов из алюминиевых сплавов / Под ред. В.А. Ливанова. М.: Металлургия, 1974. 432 с.